

**Радіотехнічні кола та сигнали**

- діагностики за нормалізованим перетворенням//Електроніка і зв'язь. 2006. №2.
11. Рибін О.І., Мельник А.Д. Погоджена фільтрація сигналів при зміні масштабу їх аргументів на базі нормалізованих вейвлет-функцій // Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка. Радіоапаробудування. – 2007. – Вип. 34. – С.18-24.
  12. Мельник А.Д., Рибін О.І. Нормалізація тестового сигналу зі збереженням еквідистантного кроку дискретизації // Вісник НТУУ "КПІ". Серія Радіотехніка. Радіоапаробудування. – 2007. – Вип. 34. С.24-29.
  13. Мельник А.Д., Рыбин А.И. Нормализация эталонного сигнала с постоянным шагом дискретизации//Радиоэлектроника. 2008. №1. С.71-75
  14. Рыбин А.И., Мельник А.Д. Согласованная нормализованная фильтрация сигналов // Радиоэлектроника. – 2008. – №2. – с.77-80 (Изв. высш. учеб. заведений).
  15. Мельник А.Д., Рыбин А.И. Согласованная вейвлет-фильтрация сигналов с изменённым масштабом//Радиоэлектроника. 2008. №3. С.76-80
  16. Ахмед Н., Рао К. Ортогональные преобразования при обработке цифровых сигналов. М.: – Связь. – 1980. – с.130 – 133.

**Ключові слова:** ортогональні перетворення, обробка сигналів

Рыбин А.И., Нижебецкая Ю.Х.	Ribin O.I, Nizhebetska Y.Kh.
<b>Нормальное дискретное ортогональное преобразование</b>	<b>Normal discrete orthogonal transformation</b>
Предложено методику и алгоритм формирования ортогональных преобразований, для которых даный одно- и двумерный сигнал является одной из трансформант.	A method and algorithm of forming of discrete ortogonal transformations are offered, for which one or two dimation signal is one of transforms of such transformation.

УДК 621.372 061

## ДЕКОНВОЛЮЦІЯ ЗА КРИТЕРІЄМ ГОСТРОТИ ІМПУЛЬСНОЇ ХАРАКТЕРИСТИКИ ПРИ ОБРОБЦІ ОБРАЗУ В НАТУРАЛЬНИХ КООРДИНАТАХ

Наталенко С.С.

*Показано оновлення деконволюції за критерієм форми результуючої імпульсної характеристики. Оновлення заключається в зміні застосування функції штрафів. Алгоритм реалізований в області натуральних координат.*

Реставрація образів має велике значення при розв'язанні задач технічної та медичної діагностики. Найбільш поширеним підходом до розв'язання такої задачі є відновлення саме образу, спотвореного (деградованого) за рахунок неточковості імпульсної характеристики (ІХ) системи відображення та наявності адитивного шуму. В статті розглядається підхід, що полягає у створенні корегуючого фільтра, який би забезпечив максимальне наближення результуючої ІХ до  $\delta$ -функції з урахуванням апріорної інформації про шум

Метод деконволюції за критерієм форми результуючої ІХ [1,2] відноситься до сукупності методів лінійних оцінок. На відміну від умовної деконволюції і Вінерівської фільтрації за критерій реставрації тут беруть не різницю між первинним та деградованим образом, а відхилення ІХ від  $\delta$  (х)- функції Дірака. Суть реставрації в побудові корегуючого фільтра  $\xi(x)$ , який перетворить ІХ деградуєної системи  $g(x)$  в обрану  $c(x)$ , яку за обраними критеріями вважають наближенням  $\delta$ - функції Дірака.

$$c(x) = g(x) * \xi(x) \rightarrow \delta(x) \quad (1)$$

При цьому, одержання результуючої ІХ у вигляді  $\delta$ -імпульсу (в дискретній версії вона б мала розміри єдиного пікселя) відповідало б інверсній деконволюції або простій частотній інверсній фільтрації образу в області трансформант Фур'є (коефіцієнт передачі простого інверсного фільтра є зворотним до коефіцієнта передачі деградууючої системи відображення):

$$K_{\Phi}(j\omega_x) = G(j\omega_x)^{-1} = \frac{1}{G(j\omega_x)}. \text{ Але необхідність урахування адитивного}$$

шуму в моделі деградації:

$$V(x) = \int_{-\infty}^{\infty} g(x-x')f(x')dx' + v(x) \quad (2)$$

при реалізації формули (1), в якій  $c(x,y) \equiv \delta(x,y)$ , призведе до результату

$$v(x)\xi(x) = \xi(x)[g(x)f(x) + v(x)] = f(x) + \xi(x)v(x) \quad (3)$$

Останній ненульовий доданок в (3) може призвести до більшого маскування шумом одержаного образу, ніж це було для випадку (2). Тому результуюча ІХ  $c(x,y)$  не  $\delta$ -імпульс, а повинна мати таку форму, щоб рівень шуму (дисперсія) не перевищував (або був меншим) рівня шуму в моделі деградації образу (2). Тому на ІХ корегуючого фільтра вводяться додаткові обмеження (суть яких витікає з досвіду реставрації і діагностичних вимог до ступеня реставрації образу в медичній практиці) [2]. Мірою спотворень ІХ є гострота  $1/r^2$  результуючої функції  $c(x,y)$ , де

$$r^2 = \left( \int_{-\infty}^{\infty} w(x)c^2(x)dx \right) / \left( \int_{-\infty}^{\infty} c^2(x)dx \right); \quad (4)$$

Ця функція максимальна при мінімальному значенні  $r^2(x)$ . В (4)  $w(x)$  - вагова функція, яка визначає необхідну форму ІХ  $c(x)$ . Вона "штрафує" (з визначеною вагою) значення гостроти ( $1/r^2$ ), які знаходяться за точкою  $x=0$ .

Алгоритм деградації-реставрації для даної задачі має наступний вигляд: 1) деградація:  $g(x)*f(x)$ ; 2) додавання шуму:  $v(x)=g(x)*f(x)+v(x)$ ; 3) дискретна реставрація за допомогою лінійного фільтра з імпульсною характеристикою  $\xi(x_i)$  та розміром  $2M$ , який і дає дискретну оцінку  $\hat{f}(x_i)$ . Розглянемо процес обчислення ІХ реставруючого фільтра. Нехай для області  $D$  при обраному форматі ІХ  $M \times M$  реставруючого фільтра мінімізована характеристика  $r$  за умови

$$\epsilon_0^2 \leq \epsilon^2, \quad (5)$$

де  $\epsilon^2$  - енергія шуму перед реставрацією;  $\epsilon_0^2$  - енергія шуму після реставрації.

Тоді рівняння (4), (5) можна записати у вигляді:

$$r^2 = \left( \int_{-\infty}^{\infty} w^2(x)c^2(x)dx \right) / \left( \int_{-\infty}^{\infty} c^2(x)dx \right); \quad (6)$$

Реалізація алгоритму з [1,2] позитивних результатів не дала. Вирішальне значення як для якості реставрації, так і для спрощення обчислювальних

процедур має вибір функції штрафу. Тому на відміну [1,2] ми взяли у виразі (6) не  $w(x)$ , а  $w^2(x)$  для того, щоб були штрафовані окремо функції  $c(x)$ .

Енергію шуму  $\epsilon_0^2$  після реставрації можна записати у вигляді

$$\epsilon_0^2 = \sum_{k=-M}^M \sum_{p=-M}^M \xi(x_k) \xi(x_p) R_{vv}(p-k). \quad (7)$$

де  $R_{vv}(p-k)$  - кореляція між елементами  $x_k$  та  $x_p$

Результуюча IX матиме вигляд

$$c(x) = g(x) * \xi(x) = \sum_{i=-M}^M \bar{\xi}(x_i) g(x-x_i) \quad (8)$$

Або у матричному вигляді

$$c(x) = g(x) * \xi(x) = \sum_{i=-M}^M \bar{\xi}(x_i) g(x-x_i) \quad (9)$$

$c^2(x)$  можна знайти за формулою

$$c^2(x) = \bar{\xi}^t \bar{G} \bar{G}^t \bar{\xi}, \quad (10)$$

де  $\bar{\xi} = [\xi(x_{-M}), \xi(x_{-M+1}) \dots \xi(x_1) \dots \xi(x_M)]$ ;  $\bar{G} = [g(x-x_{-M}) \dots g(x-x_i) \dots g(x-x_M)]^t$ .

Розглянемо ядро виразу (10)

$$\bar{\beta}(x) = \bar{G} \bar{G}^t = \begin{bmatrix} g(x-x_{-M}) \\ \dots \\ g(x-x_M) \end{bmatrix} [g(x-x_{-M}) \dots g(x-x_M)] \quad (11)$$

Тоді в (6)  $\int_{-\infty}^{\infty} c^2(x) dx = \int_{-\infty}^{\infty} \bar{\xi}^t \bar{\beta}(x) \bar{\xi} dx$  і оскільки дискрети корегуючого фільтра  $\xi$  не залежать від континуальних координат  $x$ , одержимо

$$\int_{-\infty}^{\infty} c^2(x) dx = \bar{\xi}^t \left[ \int_{-\infty}^{\infty} \bar{\beta}(x) dx \right] \bar{\xi}.$$

Ядром обчислень, яке визначає ефективність алгоритму реставрації, є процедура обчислення  $\bar{B} = \int_{-\infty}^{\infty} \bar{\beta}(x) dx$ . Для цього слід знайти всі інтегра-

ли  $B_{ij} = \int_{-\infty}^{\infty} g(x-x_i) g(x-x_j) dx$ . А при роботі в натуральних координатах

знайти суму  $B_{ij} = \sum_k g(x_k - x_i) g(x_k - x_j)$ , де  $g(x-x_i)$  — зсунута на  $i$  елементів IX  $g(x)$ ,  $k$  — інтервал, в межах якого перекриваються IX.

Аналогічно, для чисельника функції гостроти (тобто матриці  $\bar{A}$ ):

$$A_{ij} = \int_{-\infty}^{\infty} w(x-x_i) g(x-x_i) w(x-x_j) g(x-x_j) dx.$$

$$A_{ij} = \sum_k g(x_k - x_i) w(x_k - x_i) g(x_k - x_j) w(x_k - x_j) \quad (12)$$

Після обчислень елементів матриць  $\bar{A}$  і  $\bar{B}$  одержимо  $r^2$

$$r^2 = \bar{\xi}^t \bar{A} \bar{\xi} / \bar{\xi}^t \bar{B} \bar{\xi}, \quad (13)$$

яке залежить як від IX моделі деградації, так і від штрафної функції  $w(x)$ , і яке й повинно бути мінімальним для виконання умови

$$\bar{\xi}^t \bar{R}_{vv} \bar{\xi} = \varepsilon_0^2, \quad (14)$$

яке є матричним записом (8). Тобто деконволюція за критерієм оптимальної (в сенсі  $w(x)$  і  $\varepsilon_0^2 < \varepsilon^2$ ) IX є конволюція фільтром  $\bar{\xi}$

$$\frac{\bar{\xi}^t \bar{A} \bar{\xi}}{\bar{\xi}^t \bar{B} \bar{\xi}} = \min, \quad \bar{\xi}^t \bar{R}_{vv} \bar{\xi} = \varepsilon_0^2 \quad (15)$$

$\bar{\xi}$  можна знайти розв'язанням рівняння (15).

При реалізації алгоритму, як не точкову в (2) використано IX системи у вигляді гаусового дзвона (рис.1 - тут і далі відсутні позначення на осях координат; це обумовлено тим, що інформативність визначається саме формою зображених сигналів, тоді як нормовані величини вздовж осей додаткової інформації не несуть). Функція штрафів зображена на рис.2. Обчислена IX корегуючого фільтра показана на рис.3. Нова IX - рис.4. Рис.5,6-результати обробки тестових сигналів.

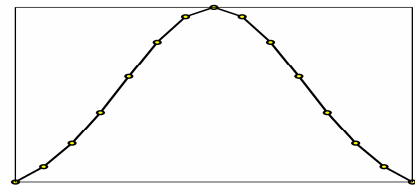


Рис. 1. IX системи

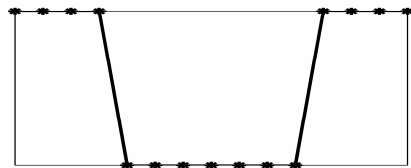


Рис. 2. Функція штрафів

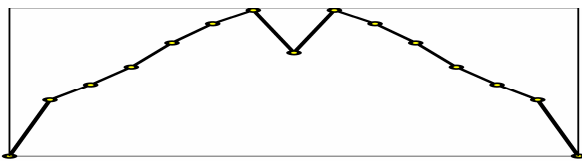


Рис. 3. IX корегуючого фільтра

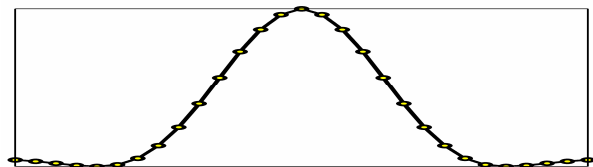
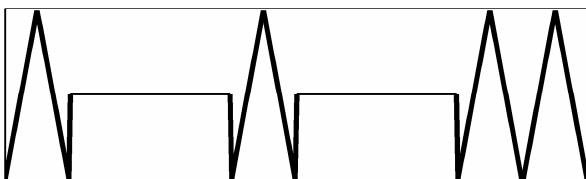


Рис. 4. Результуюча IX системи

Вхідний сигнал: ідеальний - рис.5а, ба, спотворений - рис.5б, бб, реставрований - рис.5в, бв. Наданий алгоритм дає позитивні результати, але при великих форматах образу задача розв'язання рівняння (15) досить складна, тому слід перевести методику в частотну область, де можна очікувати зме-



ншення складності обчислень.

Рис. 5а. Тестовий сигнал

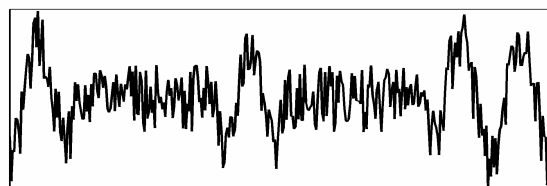


Рис. 5б. Спотворений сигнал 1

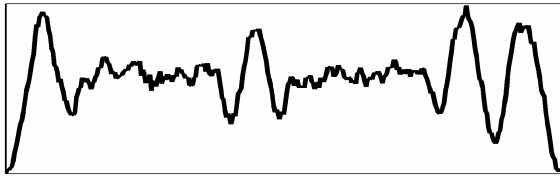


Рис.5в. Реставрований сигнал 1

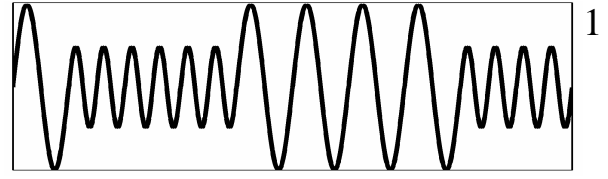


Рис. 6а. Тестовий сигнал 2

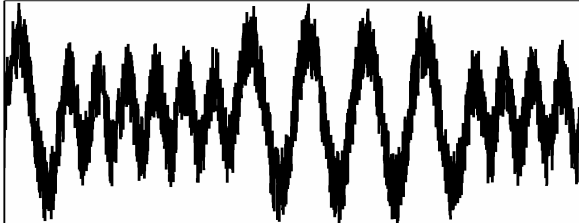


Рис.6б. Спотворений сигнал 2

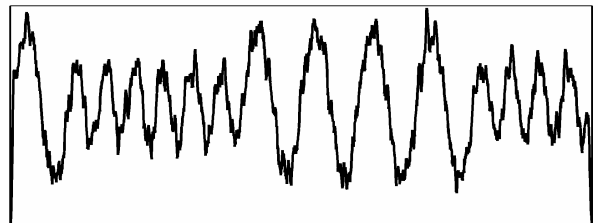


Рис.6в. Реставрований сигнал 2

#### Література

1. Абакумов В.Г Сватош Й.А. Рибін О.І. Біомедичні сигнали (генезис, обробка, моніторинг) — Київ: Нора -Прінт, 2001
2. Publications of technical and scientific papers of the technical university in Brno — Brno, Svazek A-46, 1991
3. Прэтт У. Цифровая обработка изображений: Пер. с англ. — М.: Мир, 1982

<b>Ключові слова:</b> деконволюція, образ, реставрація, імпульсна характеристика, фільтрація	
Наталенко С.С. <b>Деконволюция за критерием остроты импульсной характеристики при обработке образа в натуральных координатах</b> Показано обновление деконволюции за критерием формы результирующей импульсной характеристики. Обновление заключается в изменении функции штрафов. Алгоритм реализован в области натуральных координат	Natalenko S. <b>Deconvolution by sharpness of impulse response characteristic at processing of image in natural coordinates</b> Revision of the Deconvolution by criteria of the form of impulse response characteristic at processing of image is shown in the article. Revision lies in the changing of the fine function use. Algorithm is implemented in the domain of natural coordinates

УДК 621.372.061

## АЛГОРИТМ ФОРМУВАННЯ МАТРИЧНОГО ОПЕРАТОРА ДИСКРЕТНОГО НОРМАЛЬНОГО ПЕРЕТВОРЕННЯ

*Рибін О.І., Ніжебецька Ю.Х.*

*Запропоновано алгоритм безпосереднього створення матричного оператора дискретного нормального перетворення, що виключає покрокове формування матриці*

Розв'язання задачі класифікації сигналів часто-густо проводять із використанням ортогональних перетворень [1-5. Але тестові сигнали рідко збігаються за формою з будь-якою трансформантою відомих ортогональних перетворень. Це вносить свої незручності у проведення оцінки подібності досліджуваного і тестового сигналу. Для вирішення таких задач запропоновано нормальне дискретне перетворення (НП), для якого одна із трансформант збігається із заданим дискретним сигналом довільної форми, а, отже, спектр такого перетворення містить лише одну ненульову складову при співпадінні досліджуваного сигналу з тестовим, тоді як поява інших